Влияние производства энергии на концентрацию в атмосфере газов, обуславливающих парниковый эффект

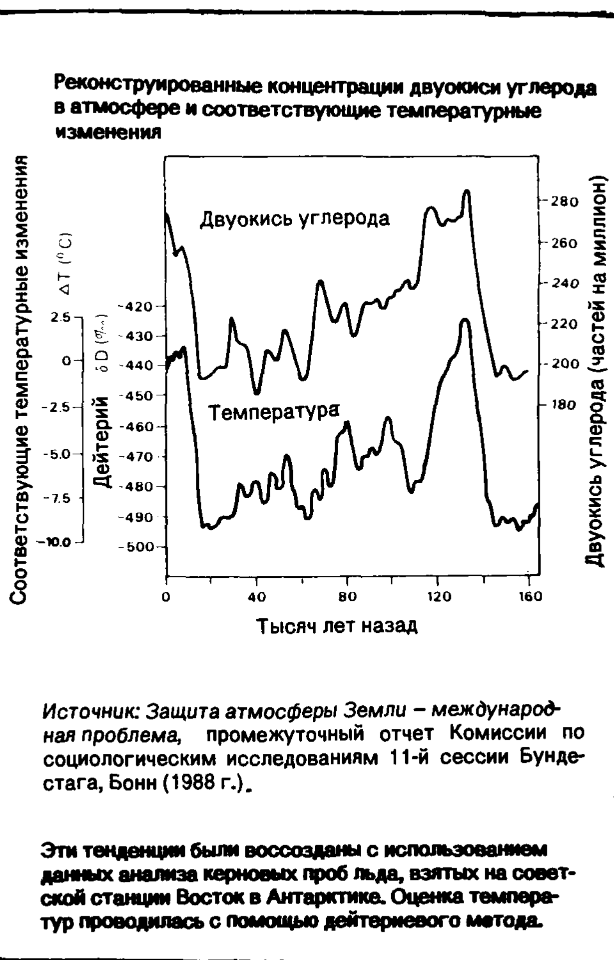
Структура энергетических систем должна быть изменена в целях сокращения выбросов двуокиси углерода

Ф. Нихаус и Э. Янсити

Земля получает излучаемую Солнцем энергию, а температура ее поверхности определяется балансом между полученной и отраженной обратно в космос энергией. В случае отсутствия парникового эффекта в атмосфере равновесие было бы достигнуто при средней температуре земной поверхности, равной −19 °С. Однако газы, обуславливающие парниковый эффект, например, водяные пары, включая облака, двуокись углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), озон (O_3) и хлорфторуглероды (ХФУ), а также другие, менее важные, присутствующие в незначительных количествах газы, поглощают инфракрасное излучение, отражаемое от земной поверхности. Этот процесс мало чем отличается от того, что происходит в парниках, стеклянные стены которых пропускают солнечную радиацию, но поглощают значительную часть исходящего инфракрасного излучения, увеличивая температуру внутри парника. Этот процесс и дал название явлению, благодаря которому средняя температура земной поверхности составляет 16 °С и стало возможным развитие жизни на Земле.

Глобальное потепление: „парниковый эффект"

С начала промышленной революции концентрация в атмосфере газов, обуславливающих парниковый эффект, неуклонно растет. В настоящее время существует обоснованный консенсус относительно того, что этот процесс приведет к повышенному поглощению тепла атмосферой и, следовательно, к глобальному изменению климата. Наиболее вероятными изменениями станут смещение



Источник: Защита атмосферы Земли – международная проблема, промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага, Бонн (1988 г.).

Эти тенденции были воссозданы с использованием данных анализа керновых проб льда, взятых на советской станции Восток в Антарктике. Оценка температур проводилась с помощью дейтериевого метода.

Г-н Нихаус возглавляет Секцию оценок безопасности Отдела ядерной безопасности МАГАТЭ, а г-н Янсити является экспертом при данном Отделе.

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

климатических зон и поднятие уровня моря*. Кроме того, считаются возможными изменения в характере выпадения дождевых осадков и более экстремальные погодные условия. Все это серьезно повлияет на жизнь во многих странах и, в частности, на мировое производство пищевых продуктов.

В настоящий момент существуют значительные неопределенности относительно источников и „приемников" выбросов, которые определяют баланс газов, обуславливающих парниковый эффект, причем в большей мере это относится к закиси азота, озону и метану, чем к CO_2 и ХФУ. Более того, потепление атмосферы в результате увеличения концентрации газов, обуславливающих парниковый эффект, несколько замаскировано разнообразием климатических условий, наличие которых определяется различными природными факторами и многие из которых пока еще не получили количественного выражения** (*см. рисунок*). Другие важные неопределенности связаны с механизмом обратной связи, т.е. получением информации о факторах, способных усилить или ослабить воздействие газов, обуславливающих парниковый эффект. К их числу относятся интенсивные промышленные выбросы таких газов и океанические процессы. Наличие таких неопределенностей не способствует принятию политики, направленной на уменьшение выбросов газов, обуславливающих парниковый эффект. На основании таких неопределенностей действительно можно придти к выводу, что принятие решений следует отложить до тех пор, пока механизм обратной связи не станет более ясным и не будут разработаны более точные аналитические модели. К сожалению, время жизни газов, обуславливающих парниковый эффект, в атмосфере и связанных с ней средах (океан, биосфера) очень длительное, поэтому, если нам не удастся резко снизить нынешние темпы выброса этих газов, их концентрация будет по-прежнему возрастать. Более того, океаны и другие механизмы обратной связи примерно на 100 лет задерживают получение информации об эффективных изменениях температуры и других климатических переменных величинах, вызванных выбросами таких газов. Таким образом, совершенно очевидно, что изменения, начало которым положено в настоящее время, носят необратимый характер. Следовательно, можно говорить о неизбежности климатических изменений в будущем, т.к. выброс обуславливающих парниковый эффект газов в атмосферу уже произошел.

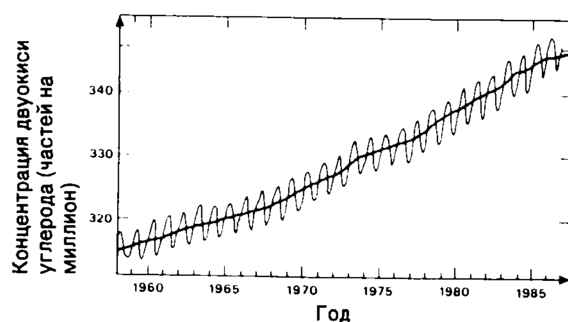
Именно по этой причине на многих международных совещаниях были даны рекомендации принять неотложные меры в рамках национальных программ по уменьшению таких выбросов.

На долю производства энергии, в частности за счет сжигания ископаемого топлива, приходится значительная часть промышленных выбросов газов, обуславливающих парниковый эффект. Это дало толчок к обсуждению роли, которую ядерная энергия могла бы играть в деле снижения выбросов таких газов. Ежегодно в результате сжигания ископаемого топлива в атмосферу поступает около 20 миллиардов тонн двуокиси углерода. На АЭС производство электроэнергии не сопровождается выбросом CO_2 или каких-либо иных газов, обуславливающих парниковый эффект. Таким образом, одна АЭС мощностью 1000 МВт позволяет избежать выброса примерно 6 млн. тонн CO_2 в год, которые поступили бы в атмосферу в результате эксплуатации ТЭС, работающей на угле и вырабатывающей аналогичное количество электроэнергии. В настоящее время все действующие в мире АЭС позволяют сократить выброс CO_2 примерно на 1,6 миллиарда тонн в год.

Основные газы, обуславливающие парниковый эффект

Существуют две категории газов, связанных с парниковым эффектом. CO_2, метан, закись азота, ХФУ-11 и ХФУ-12 поглощают и отражают тепло, исходящее от земной поверхности, увеличивая, тем самым, температуру земной поверхности. (Озон также поглощает прямую солнечную радиацию и инфракрасное излучение). Химически неактивные газы, например, оксид азота, монооксид углерода и гидроксильный радикал, влияют на концентрацию газов, обуславливающих парниковый эффект.

Тенденция к увеличению концентрации двуокиси углерода в атмосфере, 1958–1986 гг.



Источник: Защита атмосферы Земли – международная проблема, промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага, Бонн (1988 г.)

Средние месячные и годовые значения, полученные в Маунахоа, Гавайи, указывают на то, что изменения связаны с сезонными факторами, например, фотосинтезом и температурой поверхности моря.

---

* *Парниковый эффект, климатические изменения и экосистемы* (SCOPE 29), отчет опубликован Научным комитетом по проблемам окружающей среды (SCOPE) Международного совета научных союзов при поддержке Программы ООН по окружающей среде и Всемирной метеорологической организации (май 1988 г.).

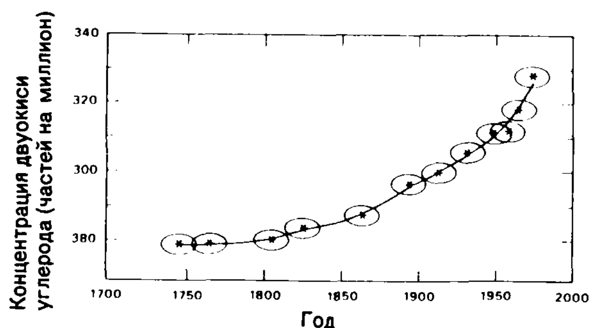
** *Защита атмосферы Земли – международная проблема,* промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага, Бонн (1988 г.).

Ниже дается краткое описание основных газов, вызывающих парниковый эффект и на 95 % отвечающих за глобальное потепление. При оценке газов, обуславливающих парниковый эффект, необходимо провести четкое различие между циклами природного равновесия и антропогенными выбросами, которые его нарушают. Относительно небольшие антропогенные выбросы могут сильно нарушить экологический баланс.

Двуокись углерода. Средняя годовая концентрация CO_2 в тропосфере в настоящее время возросла и составляет 350 объемных частей на миллион. В северном полушарии наблюдается годовой цикл, равный 15 об. частей на миллион (см. *рисунок*). Данная разница в основном обусловлена регулярными изменениями земного фотосинтеза и в меньшей степени – годовыми изменениями температуры морской поверхности, которая влияет на растворимость этого газа в морской воде. Небольшое влияние также оказывают и изменения морского фотосинтеза. Концентрацию этого газа в воздухе удалось проследить во времени с помощью анализа пузырьков воздуха во льду. Общая тенденция свидетельствует о том, что до промышленной революции и расширения сельскохозяйственной деятельности его концентрация составляла 275 ± 10 об. частей на миллион; в настоящее время рост концентрации двуокиси углерода составляет 1,5±0,2 об. части на миллион, или 0,4 % в год* (см. *рисунок*).

Цикл CO_2 носит очень сложный характер, и его естественные источники и „приемники" значительно превышают антропогенные (*см. таблицу*). Углерод играет ключевую роль в обеспечении жизни на Земле. Он имеет очень большой период пребывания в атмосфере и жестко связанных с ней средах (верхняя часть океана и биосфера) – поряд-

Тенденция к росту концентраций двуокиси углерода в атмосфере, измеренных в ледниках за последние 200 лет



Источник: Данные Нефтела и других, 1985 г., процитированные в статье Б. Болина „Сколько CO_2 остается в атмосфере?", содержащейся в отчете *Парниковый эффект, климатические изменения и экосистемы* (SCOPE 29) (май 1988 г.).

* См. упоминавшийся ранее отчет *Парниковый эффект, климатические изменения и экосистемы* (SCOPE 29).

Годовой глобальный баланс двуокиси углерода

Естественные источники	***10⁹ тонн/год***	***Процент***
Океаны	~376–390	~60
Земля	~32–440	~36
Всего за счет естественных источников	~619(408–830)	~96
Антропогенные источники		
Использование ископаемого топлива	~16–20	~3
Конверсия с/х угодий	~0–10	~1
Всего за счет антропогенных источников	~22(16–30)	~4
Общее количество за счет всех источников	~642(424–860)	100
Приемники выбросов		
Общее количество, поглощаемое океанами	~389–396	~64
Земельный чистый основной продукт	~183–257	~36
Всего за счет приемников выбросов	~612(572–653)	100

Источники: Учебник для начинающих: газы, обуславливающие парниковый эффект, Министерство энергетики США (март 1988 г.), и „Энергия, климат, окружающая среда", *Энергия и климатические изменения: Что может сделать Западная Европа?*, Главное управление по защите окружающей среды, Нидерланды (февраль 1988 г.).

Годовой глобальный баланс метана

Естественные источники	***10⁶ тонн/год***	***Процент***
Заболоченная местность	~60–160	~24
Термиты	~ 5–45	~ 5
Океаны	~ 7–13	~ 2
Дикие животные	~ 2–8	~ 1
Озера	~ 2–6	~<1
Тундра	~ 1–5	~<1
Прочие источники	~ 0–80	~ 9
Всего за счет естественных источников	~197 (77–317)	~43
Антропогенные источники		
Рогатый скот	~40–110	~16
Сжигание биомассы	~30–110	~15
Рисовые поля	~40–100	~15
Природный газ и потери при добыче	~25–75	~11
Всего за счет антропогенных источников	~265 (135–395)	~57
Общее количество за счет всех источников	~462 (212–712)	100
Приемники выбросов		
Реакция с гидроксильным радикалом в тропосфере	~250–450	~85
Реакция с гидроксильным радикалом, хлором, кислородом в стратосфере	~30–70	~12
Накопление микроорганизмами в почве	~ 5–15	~ 3
Общее количество за счет приемников	~410 (285–535)	100

Источники: Учебник для начинающих: газы, обуславливающие парниковый эффект, Министерство энергетики США (март 1988 г.), и „Энергия, климат, окружающая среда", *Энергия и климатические изменения: Что может сделать Западная Европа?*, Главное управление по защите окружающей среды, Нидерланды (февраль 1988 г.).

ка нескольких столетий. В современных условиях только 40–50 % (взвешенные фракции) от общего количества выбросов CO_2 остается в атмосфере.

Согласно имеющимся аналитическим моделям (многие факторы обратной связи требуют уточнения), удвоение концентрации CO_2 приведет к увеличению средней температуры поверхности на 1,5 – 4,5 °С. Однако последние анализы указывают на наличие достаточных доказательств, требующих политических решений. В настоящее время примерно 50 % глобального потепления объясняют антропогенными выбросами CO_2. Этот процент может быть еще выше, если учесть некоторые усиливающие механизмы обратной связи, например, естественное выделение метана.

Метан. В 1985 г. концентрация метана составляла 1,7 об. части на миллион в северном полушарии и 1,6 – в южном. Нынешнее атмосферное содержание указывает на тенденцию к ее росту на 1,1±0,1 % в год (расчеты проведены в период с 1951 по 1983 гг.) *(см. графики).* Долгосрочная тенденция была установлена на основе анализа пузырьков воздуха в ледовом покрове Гренландии и Антарктики. Метан в основном выделяется в результате деятельности микробов в процессе минерализации органического углерода, протекающего в жестких анаэробных условиях, например, в заболоченных почвах и в кишечнике травоядных животных. Кроме того, выбросы метана происходят и в результате человеческой деятельности, например, при разведке месторождений природного газа, сжигании биомассы и добыче угля (*см. таблицу*). Общее годовое мировое выделение метана в результате человеческой деятельности по оценкам составляет от 135 до 395 миллионов тонн в год; этот диапазон является очень важной неопределенностью. Основным „приемником" метана является реакция метана с гидроксильным радикалом в тропосфере. К числу других „приемников" относится его перенос в стратосферу и последующее окисление. Время пребывания метана в атмосфере равно 7–10 годам.

Важным фактором является то, что молекулярная эффективность метана в качестве газа, обуславливающего парниковый эффект, в 32 раза выше эффективности двуокиси углерода*. По оценкам, около 19 % нынешнего глобального потепления можно объяснить выбросами метана.

Закись азота. Наблюдения за концентрацией закиси азота ведутся с конца XIX века, когда были проведены измерения пузырьков воздуха в керновых пробах льда Антарктики. В 1985 г. ее концентрация составила 0,31 об. части на миллион, что указывает на тенденцию к ежегодному увеличению на 0,2–0,3 %. Для закиси азота характерен очень длительный период пребывания – порядка 150 лет. Ее естественный выброс в атмосферу в основном происходит за счет деятельности микробов в почве и воде как части водородного цикла. Антропогенными источниками являются сжигание органического топлива и сельскохозяйственная обработка почв (*см. таблицу ниже*). Основным „приемником" ее выбросов является стратосферный фотолиз и реакция окисления. По оценкам, примерно 47 % нынешнего потепления можно отнести за счет закиси азота.

Годовой глобальный баланс закиси азота

Естественные источники	***10^6 тонн/год***	***Процент***
Природные почвы	~ 9–31	~42
Океаны и устья рек	~ 3–9	~13
Всего за счет естественных источников	~12–40	~55
Антропогенные источники		
Сжигание ископаемого топлива	~ 9–16	~26
Обработка естественных почв	~ 3–6	~ 9
Внесение удобрений в почву	~ 2–3	~ 5
Сжигание биомассы	~ 2–3	~ 5
Всего за счет антропогенных источников	~22 (16–28)	~45
Общее количество за счет всех источников	~48 (28–69)	100
Основные приемники выбросов		
Стратосферный фотолиз и реакция окисления	~24–42	~100
Всего	~33 (24–42)	

Источники: Учебник для начинающих: газы, обуславливающие парниковый эффект, Министерство энергетики США (март 1988 г.), и „Энергия, климат, окружающая среда", *Энергия и климатические изменения: Что может сделать Западная Европа?,* Главное управление по защите окружающей среды, Нидерланды (февраль 1988 г.).

Хлорфторуглероды. Основными ХФУ являются $CFCl_3$ (ХФУ-11) и CF_2Cl_2 (ХФУ-12). Естественные источники отсутствуют. Все они являются результатом человеческой деятельности, в основном при производстве хладагентов, жидкостей, аэрозольных видов топлива и пластмасс. У них нет „приемников" в тропосфере, поэтому ХФУ диссоциируются в стратосфере, внося свой вклад в процесс обеднения озоном. Время жизни в атмосфере равно примерно 75 лет для ХФУ-11 и около 110 лет для ХФУ-12. В 1983 г. концентрация ХФУ-11 составила 200 об. частей на миллиард, а ХФУ-12 – 310. По оценкам, ежегодное увеличение концентрации составляет примерно 5 %.

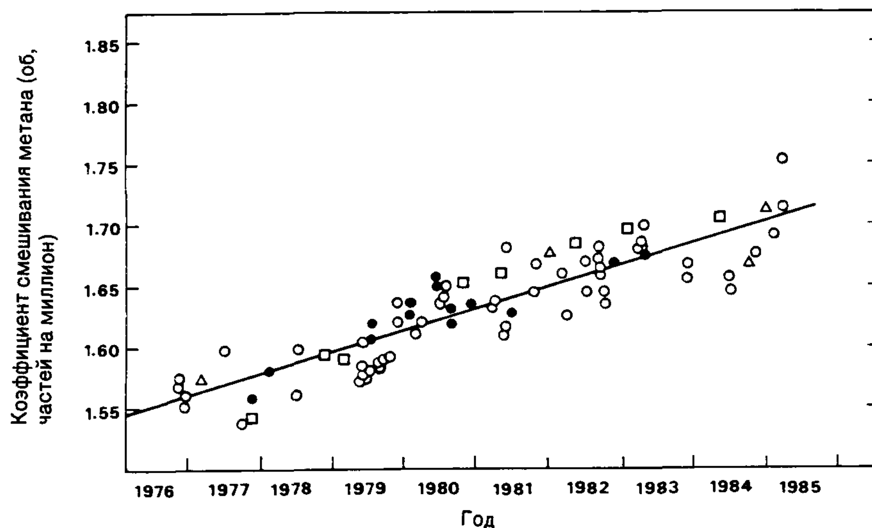
В 1987 г., учитывая роль ХФУ в обеднении стратосферы озоном, было заключено международное соглашение (Монреальский протокол). Соглашение направлено на уменьшение к 2000 г. масштабов использования ХФУ в промышленно развитых странах на 50 %. Позднее целью международного сообщества стал полный отказ от их использования.

На молекулярном уровне, в качестве газа, обуславливающего парниковый эффект, ХФУ-11 в 14 000 раз, а ХФУ-12 в 17 000 раз более эффектив-

* *Защита атмосферы Земли – международная проблема,* промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага, Бонн (1988 г.).

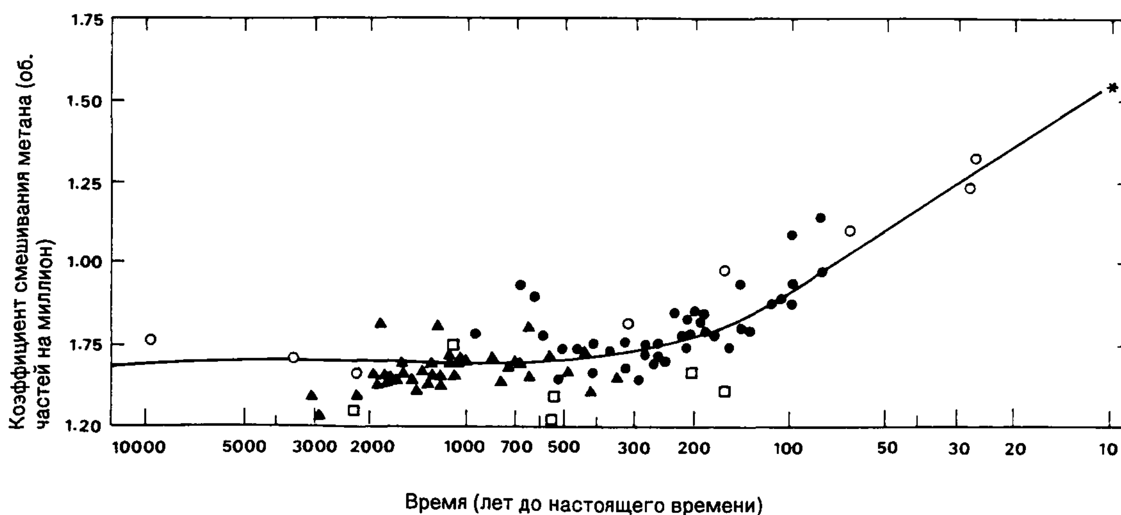
Метан: Концентрация в атмосфере в прошлом и будущем

Коэффициенты тропосферного метана в северном полушарии:



Эти данные были получены в результате измерений, проведенных на борту самолета (кружочки) и корабля (квадраты), а также на различных наземных станциях в условиях хорошей видимости (треугольники). В данном графике были также использованы данные (точки) измерений воздуха, проведенные Роулендом и его коллегами (см. отчет Блейка, 1984 г.) на аналогичных широтах Тихого океана.

Коэффициенты смешивания метана в пузырьках воздуха в керновых пробах льда

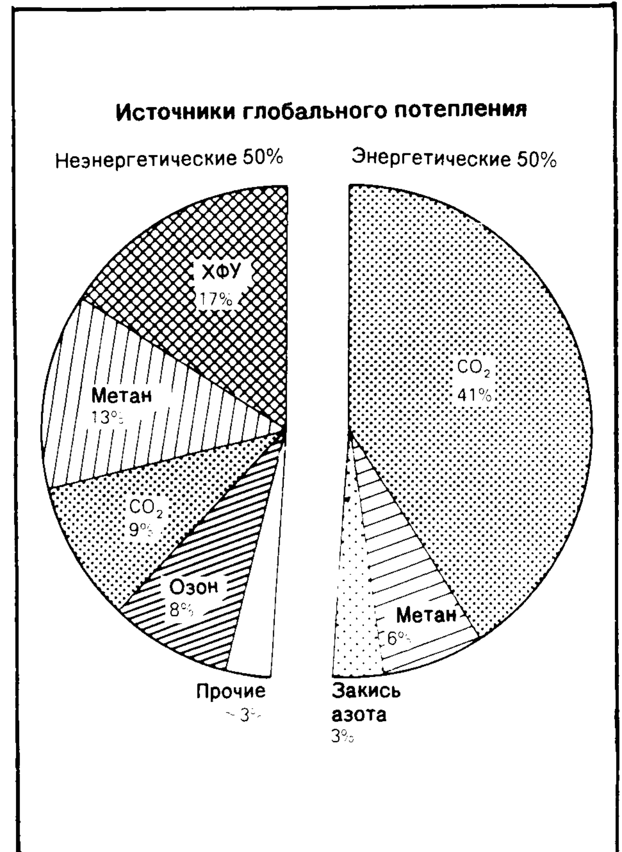


Источник: „Другие газы и аэрозоли, обуславливающие парниковый эффект", Х.Дж. Болле, У. Сейлер и Б. Болин, *Парниковый эффект, климатические изменения и экосистемы* (SCOPE 29) (май 1988 г.)

Точки и черные треугольники основаны на данных Расмуссена и Халила (1984 г.) и представляют значения, соответственно измеренные в керновых пробах льда Гренландии и Антарктики. Светлые кружочки основаны на данных Крейга и Чу (1982 г.), а квадраты – на данных Роббинса и других (1973 г.).

ны, чем двуокись углерода*. По оценкам, в настоящее время около 5 % глобального потепления можно отнести на счет ХФУ-11 и 10 % – на счет ХФУ-12. От 5 до 10 % выбросов косвенно связаны с энергией; например, они выделяются в результате производства изоляционных материалов, применяемых в целях экономии энергии.

Озон. Озон – это крупный поглотитель солнечного и инфракрасного излучений. Тропосферный озон частично получается в результате переноса из стратосферы и частично благодаря тропосферным фотохимическим реакциям. Стратосферный озон получается главным образом в результате фотодиссоциации молекулярного кислорода и последующего соединения образуемых в этой реакции атомов кислорода с O_2 в присутствии катализатора. Распад озона происходит в результате рекомбинации с атомами кислорода и каталитических реакций. Для озона характерно очень короткое время пребывания в тропосфере (от нескольких часов до нескольких дней); следовательно, существуют большие локальные отклонения в его концентрации, что затрудняет выявление тенденций. В литературе приводятся значения средней концентрации в тропосфере от 0,02 до 0,1 об. части на миллион, в то время как для стратосферы этот диапазон равен 0,1–10 об. частей на миллион. Измерения, проведенные с помощью спутников и наземных станций, указывают на то, что его концентрация в стратосфере уменьшается, но возрастает в тропосфере. В настоящее время около 8 % глобального потепления можно отнести за счет озона.



Производство энергии

Существует широкий диапазон оценок вклада производства энергии в выброс газов, обуславливающих парниковый эффект *(см. таблицу и диаграмму ниже).*

Процент выделения газов, обуславливающих парниковый эффект, в результате производства энергии

	Процент выделения в результате производства энергии по сравнению с общим выделением газов: Естественные источники	Антропогенные источники
Двуокись углерода	2–4	65–98
Метан	10–30	16–48
Закись азота	18–38	65–100
ХФУ	отсутствуют	5–10*

* Косвенно в результате экономии энергии.

Глобальные выбросы двуокиси углерода в результате сжигания топлива. С 1950 г. наблюдается неуклонный рост выбросов CO_2 в атмосферу, причем пиковые значения отмечались в периоды после нефтяных кризисов 1975 и 1979 гг. (*см. рисунок*). Нефтяной кризис 1979 г. привел к стабилизации потребления нефти, однако в потреблении природного газа сохранилась тенденция к росту. Произошло значительное увеличение потребления угля, превышающее даже самые высокие, исторически отмечавшиеся уровни. Таким образом, уголь теперь играет ведущую роль в выбросе CO_2 в атмосферу, как и в конце 60-х годов. Это привело к рекордному уровню выбросов CO_2 в 1986 г. Такой фактический ход событий находится в остром противоречии со всеми рекомендациями научного сообщества сократить выбросы CO_2. Существующие планы увеличения потребления угля резко ухудшают сложившуюся ситуацию.

Необходимо отметить, что в случае, если сбудутся прогнозы на 2000 г., один только Китай будет использовать больше угля, чем все страны-члены Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в настоящее время. Прогнозируемое мировое увеличение потребления угля на 40 % примерно равно его нынешнему потреблению странами–членами ОЭСР и в два раза превышает потребление в Соединенных Штатах Америки *(см. таблицу)*.

* См. ранее упоминавшийся отчет *Парниковый эффект, климатические изменения и экосистемы* (SCOPE 29).

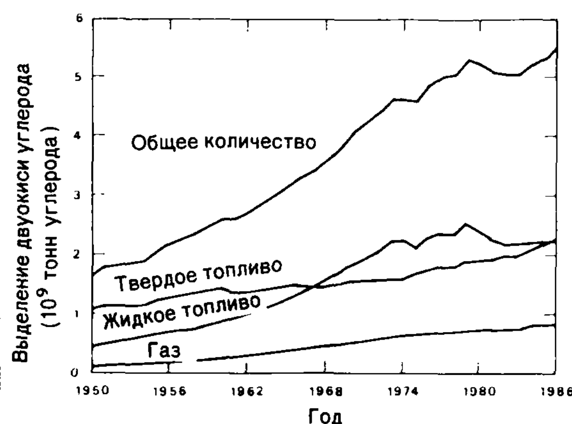
Прогнозируемое потребление угля (млн. тонн нефтяного эквивалента в год)

	1985–1986 гг.	2000 г.	Увеличение
Китай	700	1400	+100 %
США	680	900	+32 %
Австралия	43	62	+44 %
Индия	140	440	+214 %
Всего в мире	3200	4500	+40 %
Доля ОЭСР в общем количестве	1200	1640	+37 %

Источники: Международное энергетическое агентство Организации экономического сотрудничества и развития, 1986 г. (данные по США и Австралии); Всемирная энергетическая конференция, 1986 г. (общие данные по мировому потреблению).

Выбросы двуокиси углерода в отдельных странах. С 1950 г. наблюдается быстрое увеличение выбросов CO_2 в развивающихся странах и относительное уменьшение вклада промышленно развитых стран (*см. рисунок ниже*). За небольшим числом исключений с 1950 г. резко возросли и выбросы CO_2 на душу населения. Большие расхож-

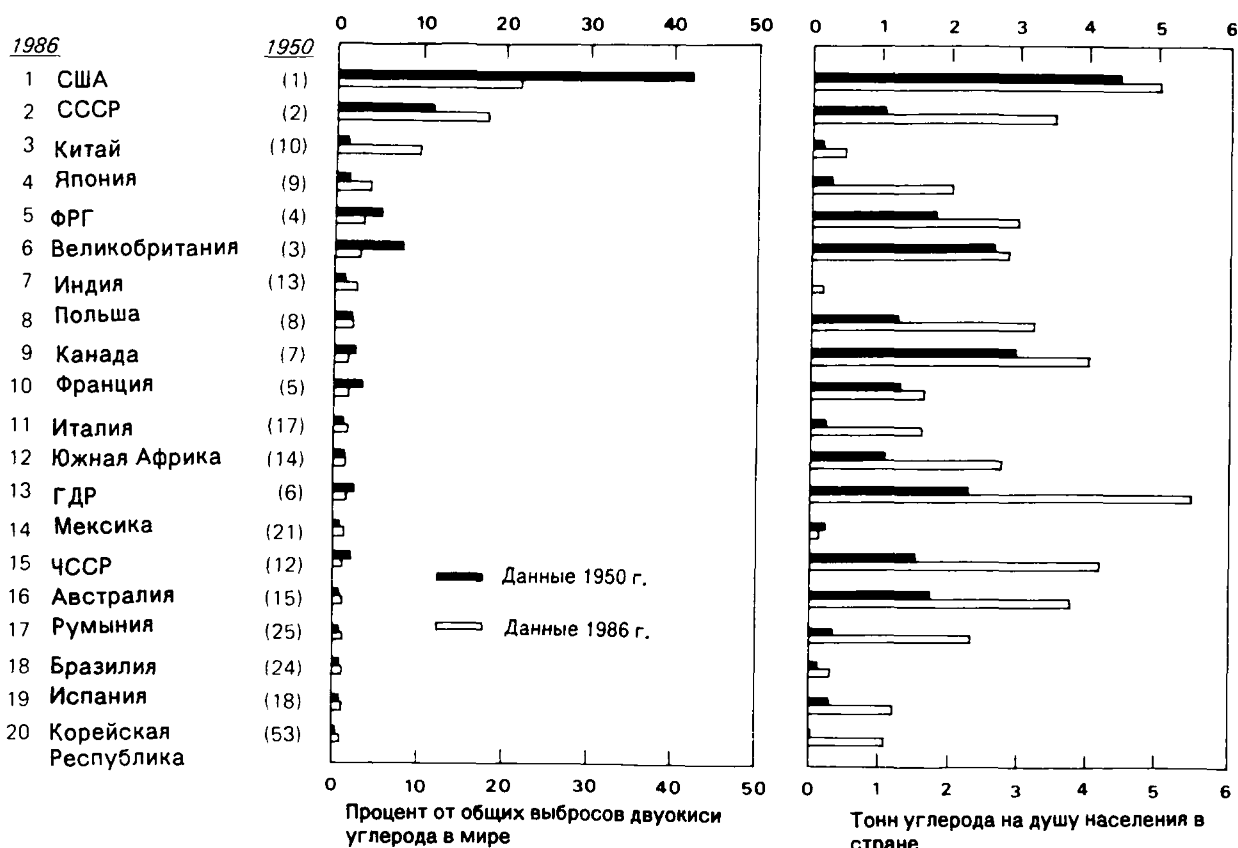
Общие глобальные выбросы в зависимости от вида топлива, 1950–1986 гг.



Примечание. Общее количество включает в себя выбросы за счет сжигания природного газа в факелах и производства цемента.

Источник: Центр анализа информации о двуокиси углерода, Окриджская национальная лаборатория, США.

Выбросы двуокиси углерода, 1950–1986 гг.



Источник: *Центр анализа информации о двуокиси углерода*, Окриджская национальная лаборатория, США.

Выброс углерода в 1984 г. по регионам и секторам экономики

	Проценты (округленные значения)					
	Промышленность	Транспорт	Прочее	Электро-энергия	Собственные нужды* (энергетика)	Всего (10^6 тонн)
Азия	38	11	21	26	3	642,54
Африка	28	20	11	40	1	136,31
Латинская Америка	23	32	12	19	15	203,69
ОЭСР	23	24	17	28	8	2622,00
СЭВ	21	8	17	43	11	1378,94
Всего	24	18	17	32	8	4983,48

* Потери вторичной энергии при распределении и конверсии.

Примечания: Африканский регион включает в себя 17 государств плюс Иран (данные 1982 г.) и Алжир (данные 1982 г.). Азиатский регион насчитывает 15 государств плюс Китай (данные 1980 г.) и Тайвань, Китай (данные 1984 г.). Регион Латинской Америки насчитывает 16 стран плюс Мексика (данные 1982 г.). Данные по ОЭСР охватывают 25 государств, данные по СЭВ – 7 стран. Некоторые страны не учитывались совсем или учитывались частично: Алжир, Либерия, Ливийская Арабская Джамахирия, Южная Африка, Иран, Корейская Народно-Демократическая Республика и Сирия.

Источники: Энергетические балансы и электроэнергетические профили, данные ООН (1982 г.) по Африке, Азии и Латинской Америке; *Энергетические балансы в 1970 – 1985 гг.,* Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), данные по ОЭСР; *Энергетические балансы в Европе и Северной Америке, 1970–2000 гг.,* Экономическая комиссия ООН по Европе, данные по странам – членам СЭВ.

Источник: Т. Мюллер (консультант), Секция планирования и экономических исследований Отдела ядерной энергии.

дения в выбросах CO_2 *на душу населения* в настоящее время также указывают на те трудности, с которыми придется столкнуться при выработке соглашения между государствами об уменьшении выбросов CO_2; например, для достижения целей Торонтской конференции 1988 г. по уменьшению к 2005 г. выбросов CO_2 на 20 %. Совершенно очевидно, что добиться какой-либо стабилизации в выбросах CO_2 можно только при участии всех стран. Однако необходимы различные стратегии, зависящие от технологических возможностей государств и наличия альтернативных вариантов.

Выбросы двуокиси углерода по секторам экономики. Другим важным аспектом, связанным с выбросами CO_2, является их распределение по секторам экономики. Важную роль играет производство электроэнергии (*см. таблицу*). В мире примерно 1/3 выбросов CO_2 связана с производством электроэнергии; 1/4 – с промышленностью; не менее 1/5 приходится на транспорт и другие виды деятельности (включая бытовое обслуживание, сельское и домашнее хозяйство) и менее 1/10 – на потери во время конверсии и на обрабатывающие отрасли промышленности. Процент выбросов, обусловленный производством электроэнергии, колеблется от 19 % в Латинской Америке до 43 % в государствах – членах Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ).

Значение производства электроэнергии росло более высокими темпами, чем валовый национальный продукт (ВНП) или производство энергии. В странах – членах ОЭСР общее производство энергии увеличилось всего на 4 %, в то время как производство электроэнергии возросло на 39 %. За этот период мировое производство электроэнергии поднялось на 57 % (*см. таблицу ниже*).

Рост валового национального продукта, энергии и электроэнергии, 1973–1985 гг.

	ВНП	Энергия	Электроэнергия
В мире	42 %	29 %	57 %
ОЭСР	33 %	4 %	39 %

Альтернативные варианты политики контроля за выбросами двуокиси углерода

Наличие таких тенденций привело к консенсусу относительно того, что мы больше не можем позволить себе продолжать глобальный эксперимент по увеличению выброса газов, обуславливающих парниковый эффект, особенно CO_2, основным источником поступления которой до настоящего времени являлось сжигание ископаемого топлива.

Важно помнить, что в коммерческом развитии энергетических систем прослеживаются определенные исторические тенденции, на которые довольно слабое влияние оказывают такие чрезвычайные ситуации, как, например, нефтяной кризис. Изменить исторические тенденции за короткий промежуток времени невозможно (да и нежелательно), учитывая, например, продолжительность жизни капиталовложений в энергетике и их связь с промышленным и экономическим развитием.

Решить проблему CO_2 можно только с помощью незамедлительной реализации целого комплекса дополняющих друг друга мер. Кроме того, такая комбинация мер, каждая из которых вносит свой вклад в решение этой проблемы, обладает большой гибкостью и в меньшей степени нарушает экономическое развитие. Полезные результаты таких мер многократно возрастут, если предпринимаемые шаги будут также оправданы и в силу других причин (например, уменьшится выброс других газов, обуславливающих парниковый эффект, и загрязнений атмосферы, а также уменьшится производство отходов).

Однако необходимо отметить, что стабилизация выбросов газов, приводящих к парниковому эффекту (т. е. сохранение нынешних темпов их поступления в атмосферу), не помешает увеличению их концентрации в атмосфере. В настоящее время неизвестно, какие концентрации являются допустимыми. Таким образом, доминирующее значение приобретает замедление темпов увеличения их концентрации и изменение образа жизни, промышленного развития и производства энергии, которые обеспечат разработку более гибких стратегий реагирования, учитывающих инерцию конкретной системы. Более глубокое понимание существующей проблемы могло бы ускорить и усилить такие стратегии. В этой связи Межправительственная группа специалистов по изменению климата (IPCC) изучает возможные результаты реализации сценариев, которые могут привести к эквивалентному удвоению концентрации CO_2 в атмосфере к 2030, 2060 и 2090 гг., причем последний сценарий не предусматривает никакого увеличения.

Структуру энергетической системы необходимо изменить таким образом, чтобы единице предоставляемых энергетических услуг соответствовали более низкие уровни выброса CO_2.

Основными альтернативными вариантами достижения этой цели являются:

- Более эффективное использование первичной энергии, получаемой с помощью угля. Эта мера приведет также к более низким выбросам всех газов, обуславливающих парниковый эффект и связанных с производством энергии.
- Переход с угля на использование топлив, приводящих к меньшим выбросам CO_2. Такое „топливное переключение" должно также привести к уменьшению загрязнения окружающей среды. Однако за исключением CO_2 это оказывает довольно незначительное влияние на другие газы, обуславливающие парниковый эффект. Переход на природный газ приведет к увеличению выбросов метана (расчетные потери при распределении, как правило, составляют доли одного процента). Однако на молекулярном уровне эффективность газа, как газа, обуславливающего парниковый эффект, в 32 раза выше аналогичной эффективности CO_2.

Тенденции в потреблении первичной энергии, общем потреблении энергии и валовом национальном продукте в ФРГ, 1973–1985 гг.



Источник: *Энергетический отчет правительства Федеративной Республики Германии*, Федеральное министерство экономики, Бонн (1986 г.).

- Использование ядерной энергии. Производство ядерной энергии не сопровождается выбросами газов, обуславливающих парниковый эффект. В дополнение к производству электроэнергии ее использование в будущем могло бы охватить производство технологического тепла в промышленных и других целях, а также производство специальных видов транспортного топлива, которые не приводят к выбросу газов, обуславливающих парниковый эффект.
- Использование возобновляемых источников энергии (например, солнца, ветра и биомассы). Такие источники не приводят к выбросу газов, обуславливающих парниковый эффект. В настоящее время использовать эти технологии экономически нецелесообразно, поэтому до тех пор, пока не будут сделаны крупные технологические прорывы в этой области, они будут децентрализованно применяться лишь в ограниченных, небольших масштабах. Однако в странах с благоприятными условиями благодаря использованию этих технологий можно получить значительные дополнительные количества энергии.
- Реализация стратегий, смягчающих последствия выбросов. К их числу относятся такие разнообразные меры, как лесовозобновление или закачка CO_2 в глубины океана или истощенные нефте- и газоносные пласты.

Выбор комплекса мер и акцентов в значительной степени зависит от уровня экономического развития стран и наличия альтернативных вариантов.

Анализ отдельных случаев. В Соединенных Штатах Америки, например, общий уровень выбросов CO_2 оставался стабильным в течение последних 15 лет. В расчете на единицу продукции „эффективность выбросов" CO_2 увеличилась примерно

на 20 %, т. е. удельные выбросы сократились с 470 000 до 350 000 метрических тонн на миллиард долларов ВНП (в долл. США 1982 г.)*. В основном этого удалось добиться благодаря повышению энергетической эффективности, широкому использованию электроэнергии и значительному увеличению производства ядерной энергии.

Такие усилия были предприняты с целью максимального уменьшения издержек производства и воздействия на окружающую среду, при этом не ставилась конкретная задача максимального уменьшения выбросов CO_2.

Аналогичную ситуацию можно наблюдать в ФРГ**. За период с 1973 по 1985 гг. *ВНП вырос* (+26 %), а выбросы двуокиси углерода уменьшились (−11 %). Это произошло в результате следующих изменений в производстве и использовании энергии:

- *Более эффективное использование энергии.* За некоторыми исключениями общее потребление первичной энергии оставалось почти постоянным, несмотря на значительное увеличение ВНП (*см. рисунок*). Этого удалось добиться благодаря резкому росту спроса на электроэнергию. (Данная тенденция к электрификации характерна для всего мира и особенно для стран–членов ОЭСР). Экономия энергии за счет перехода на более эффективную продукцию и услуги была достигнута в промышленности, коммунальном теплоснабжении и потреблении нефти. Рост потребления электроэнергии произошел несмотря на повышение эффективности ее использования.
- *Переход на новые виды топлива.* В 1973 г. удельные выбросы CO_2 за счет всех видов топлива были на 13 % ниже уровня, которого они могли бы достичь, если бы для производства всей энергии использовался только уголь. В 1985 г. эта разница возросла до 24 % за счет сокращения потребления нефти и угля и увеличения доли природного газа и ядерной энергии.
- *Использование ядерной энергии.* Доля ядерной энергии в производстве первичной энергии увеличилась с 1 до 11 %.

И на этот раз в основе данных изменений не лежало стремление максимально уменьшить выбросы CO_2. И, тем не менее, они продемонстрировали потенциальные возможности уменьшения выбросов CO_2 в случае реализации такой политики.

Энергетическая политика и роль ядерной энергетики

Однако совершенно очевидно, что политика, основанная на примерах США и ФРГ, больше подходит для промышленно развитых государств и в меньшей степени – для развивающихся стран. Развивающимся странам потребуется, и они уже планируют, значительно увеличить потребление первичной энергии, получаемой в основном за счет сжигания органического топлива. В силу того, что на промышленно развитые государства приходится львиная доля ответственности за увеличение концентрации CO_2 в атмосфере, они, следовательно, несут особую ответственность за „сверхпропорциональное" уменьшение выбросов CO_2. Развивающиеся государства с благоприятными климатическими условиями могут использовать возобновляемые источники энергии.

Ядерная энергия могла бы внести значительный вклад в решение проблемы выбросов CO_2. Один реактор электрической мощностью 1000 МВт предупреждает выброс в атмосферу около 6 млн. тонн CO_2 в год по сравнению с аналогичной по мощности ТЭС, работающей на угле. В целом, 430 эксплуатируемых в мире АЭС предупреждают выброс в атмосферу около 1,6 миллиарда тонн CO_2, т. е. 8 % всех нынешних выбросов. Это немалое количество, если учесть, что они приблизительно равны 40 %-ному сокращению выбросов, намеченному и предложенному на Торонтской конференции. Для достижения аналогичного эффекта с помощью лесовозведения потребуются значительные площади. Например, в ФРГ один гектар леса улавливает около 3 тонн углерода в год за счет роста стволов и ветвей деревьев. В более благоприятных условиях эту цифру можно было бы удвоить. Таким образом, в зависимости от климатических условий один гектар леса поглощает из атмосферы от 10 до 20 тонн CO_2. Следовательно, для поглощения выбросов CO_2, которые не попали в атмосферу благодаря эксплуатации одной АЭС мощностью 1000 МВт вместо сравнимой по мощности ТЭС, работающей на угле, потребуется от 3000 до 6000 кв. километров леса. Таким образом, 1,6 млрд. тонн CO_2, *не попавших в атмосферу* благодаря всем действующим АЭС, эквивалентны в настоящее время 1–2 млн. кв. километров леса или 4–8 территориям ФРГ. Здесь мы не принимаем во внимание тот факт, что старые деревья надо где-то навечно и герметично захоронять, чтобы избежать выделения CO_2 в процессе окисления.

Во многих странах, хотя и не во всех, учитывая быстрый рост темпов потребления электроэнергии, все еще имеются значительные потенциальные возможности увеличить производство электроэнергии с помощью ядерной энергии. Однако увеличение производства ядерной энергии до уровня, например, в два раза превышающего современные ядерноэнергетические мощности, будет означать новые проблемы в области ядерной безопасности, установок ядерного топливного цикла и системы международных гарантий. Кроме того, потребуется осуществить принципиальные изменения, чтобы сделать ядерную энергетику привлекательной для развивающихся стран, включая вопросы финансирования и улучшения международного сотрудничества на различных этапах ядерного топливного цикла.

Учитывая особую ответственность промышленно развитых государств за возникновение проблемы выбросов CO_2 и их технологические возможности, они обязаны более широко использовать существующие типы реакторов и ускорить разработку и внедрение небольших усовершенствованных реакторов, основанных на более простой и стандартизованной технологии, а также на более

* Энергия и парниковый эффект, компания „Сайенс консептс инкорпорейтид", Вашингтон, округ Колумбия (март 1989 г.).

** Данное заявление основывается на данных отчета SCOPE 29 (см. предыдущую ссылку) и *Энергетическом отчете Федеративной Республики Германии*, Федеративное министерство экономики, Бонн (1986 г.).

широком использовании пассивных мер безопасности. В настоящее время ведется разработка целого ряда таких реакторов, включая высокотемпературные, которые можно будет внедрить через несколько лет. В конечном счете, в результате пересмотра аспектов захоронения радиоактивных отходов, наличия топлива и нераспространения может потребоваться разработка совершенно иных конструкций реакторов, основанных на других технологиях и характеристиках ядерного топливного цикла. Кроме того, такая политика могла бы по крайней мере частично помочь преодолеть проблему признания ядерной энергии общественностью.

Выводы

- Учитывая важность данной проблемы, для ее решения уже сейчас необходимо предпринять шаги, особенно эффективные с точки зрения затрат и результатов и обоснованные с точки зрения экологии и экономики.
- Необходимы альтернативные варианты, которые усилят нынешние позитивные тенденции и окажут таким образом менее разрушительное влияние на социальное развитие.
- Все страны, особенно промышленно развитые, должны проводить строгую политику эффективного использования первичной энергии, полученной с помощью угля, политику перехода на новые виды топлива, а также там, где это возможно, политику использования ядерной энергии и возобновляемых источников энергии.
- Усилия, которые необходимо предпринять каждой отдельной стране по уменьшению выбросов CO_2, должны основываться на ее технологических возможностях, экономическом благосостоянии, наличии альтернативных энергетических вариантов и „вкладе", который она внесла в прошлом в загрязнение атмосферы выбросами CO_2.
- В дополнение к положительному влиянию на выбросы CO_2 эффективное использование энергии, переход на новые виды топлива и использование ядерной энергии желательны и в силу других экологических причин.
- Нельзя сделать окончательный вывод о глобальном потеплении. Степень серьезности этой проблемы может быть выше или ниже нынешних оценок. Очень важно, следовательно, принять сейчас стратегию, которая позволит нам прибегнуть в будущем к альтернативным вариантам. В частности, это касается ядерной энергетики, т. к. в будущем, возможно, потребуется большое количество реакторов. Таким образом, промышленно развитые страны должны отдать высокий приоритет разработке и внедрению усовершенствованной ядерной технологии.
- Промышленно развитые государства должны оказать помощь развивающимся странам в их усилиях по уменьшению расходов, связанных с сокращением выбросов CO_2. Особенно больших успехов с точки зрения эффективности затрат и результатов можно добиться в тех странах, где используются технологии с низкой удельной эффективностью выбросов CO_2.
- Снижение выбросов обуславливающих парниковый эффект газов в результате производства энергии должно сопровождаться мерами по предотвращению выбросов таких газов за счет других источников.